

PENGARUH VARIASI CAMPURAN 2,5-DIMETHYLFURAN- MINYAK KELAPA PADA PEMBAKARAN DROPLED TERHADAP PERILAKU NYALA API

Moh Badrus Afandi, Dony Perdana*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maarif Hasyim Latif
Jl. Ngelom Megare No. 30, Taman, Sidoarjo 61257.

*Email: dony_perdana@dosen.umaha.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi campuran 2,5-dimethylfuran-minyak kelapa pembakaran droplet terhadap evolusi nyala api, tinggi nyala api dan emisi hydrocarbon. Minyak nabati dan turunannya serta penambahan bioaditif 2,5-dimethylfuran sangat dibutuhkan untuk dilakukan penelitian sebagai pengganti bahan bakar fosil. Bahan bakar menggunakan minyak kelapa 4 ml dicampur dengan variasi konsentrasi 5%, 10% dan 15% 2,5-dimethylfuran. Dilakukan penelitian secara eksperimental dengan menempatkan sebuah tetesan campuran 2,5-dimethylfuran- minyak kelapa pada thermocouple type K dengan diameter tetesan 0.3 mm. Hasil penelitian menemukan campuran 15% 2,5-dimethylfuran-minyak kelapa menghasilkan bahan bakar mudah menguap disebabkan nilai viskositas 2,5-dimethylfuran lebih rendah daripada minyak kelapa. Sehingga molekul bahan bakar bergerak sangat leluasa menghasilkan proses nukleasi pada droplet menjadi lebih singkat. Adanya senyawa 2,5-dimethylfuran yang menghasilkan ikatan baru itu berpotensi meningkatkan panjang karbon rantai minyak kelapa. Dampaknya jarak antar molekul bahan bakar menjadi lebih kecil, sehingga kemungkinan untuk efektif tabrakan sangat besar. Fenomena ini dapat meningkatkan reaktivitas molekul bahan bakar sehingga mudah terbakar dan laju pembakaran difusi meningkat menghasilkan nyala api bulat, tinggi nyala api rendah dan emisi hydrocarbon menurun dan lebih stabil dibandingkan dengan campuran 2,5-dimethylfuran lainnya.

Kata kunci: 2,5 dimethylfuran, emisi, minyak kelapa, pembakaran droplet, perilaku nyala api

PENDAHULUAN

Populasi penduduk yang semakin meningkat, peningkatan aktivitas industri dan komersial mengakibatkan tingginya permintaan energi, yang mengakibatkan menipisnya bahan bakar fosil, peningkatan polusi lingkungan, pemanasan global, dan kemunduran gaya hidup sehat (Ali dkk., 2017). Krisis energi ini mendorong pencarian sumber pembangkit energi alternatif untuk memenuhi permintaan energi global secara berkelanjutan (Ayei dkk., 2021). Para peneliti telah mengidentifikasi biomassa sebagai sumber energi yang berkelanjutan, terbarukan, dan ramah lingkungan seperti sinar matahari, angin, air, dan biomassa (Ighalo dan Adeniyi, 2019; Wang dan Sarkar, 2018). Limbah pertanian dianggap sebagai sumber pembangkit energi yang layak untuk memenuhi permintaan konsumsi energi yang terus meningkat dan mengurangi penipisan bahan bakar fosil dan degradasi lingkungan (Adeniyi dkk., 2019).

Salah satu solusi untuk masalah ini adalah penggunaan minyak nabati sebagai sumber

energi. Minyak nabati tersedia melimpah dalam bentuk alami dari berbagai sumber, yang dapat diperbarui dengan cepat dan tersedia terurai secara hayati (Ali dkk., 2016). Beberapa penelitian yang telah dilakukan menggunakan bahan bakar biomassa, ditemukan memanaskan minyak kelapa sebelumnya dapat langsung digunakan sebagai pengganti solar dan tidak diperlukan perubahan mesin (Malik dkk., 2017). Minyak kelapa banyak diteliti sebagai bahan bakar pengganti solar karena asam lemak minyak kelapa memiliki karbon rantai panjang yang mirip dengan struktur molekul solar (Nanlohy dkk., 2018). Penambahan 30% Coconut oil dengan solar menghasilkan tenaga yang lebih tinggi dan laju pelepasan panas dengan pengurangan emisi gas buang seperti HC, NO_x, CO, dan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) lebih bersih (Kalam dkk., 2003).

Namun penggunaannya pada mesin pembakaran dalam masih bermasalah karena viskositas tinggi dan titik nyala tinggi (Corsini dkk., 2015; Yilmaz dkk., 2018), membuat bahan

bakar sulit terbakar dan atomisasi yang tidak ideal, laju penguapan yang rendah dan mempersingkat masa pakai komponen sistem bahan bakar lainnya (Mat dkk., 2019) serta pembakaran yang tidak sempurna. Ketidakefektifan pembakaran akan menimbulkan pada ruang bakar terjadi endapan karbon (Mat dkk., 2018), usia filter bahan bakar menjadi singkat (Yilmaz dan Virgil, 2014) dan emisi antropogenik (Hellier dkk., 2015). Minyak nabati dapat diubah menjadi *biodiesel* dengan memisahkan gliserol dari asam lemak. *Biodiesel* diproduksi melalui proses degumming, esterifikasi, trans-esterifikasi, hidrogenasi, dan perengkahan katalitik (Zhang dan Wu, 2015). Proses konversi minyak nabati mentah menjadi *biodiesel* memiliki kekurangan karena membutuhkan tambahan energi dan material sehingga menyebabkan biaya produksi yang tinggi (Bautista dkk., 2009). Faktor-faktor ini membuat produksi dan permintaan *biodiesel* terbatas dan karenanya dievaluasi kembali (Hellier dkk., 2015). Banyak peneliti telah berusaha untuk mengidentifikasi metode untuk mengurangi biaya produksi *biodiesel*. Metode pencampuran merupakan salah satu metode yang disarankan dalam penelitian sebelumnya yang efektif, murah, dan cepat dalam kaitannya dengan penurunan viskositas minyak nabati. Selama dekade terakhir, studi tentang pencampuran bahan bakar minyak nabati-solar, minyak nabati-etanol, dan minyak nabati-solar-etanol telah menunjukkan bahwa viskositas minyak nabati turun sebanding dengan bahan bakar solar. Namun, dalam penerapannya pada mesin pembakaran dalam, etanol mempunyai beberapa keterbatasan, seperti kepadatan energi yang rendah, kelarutan dalam air, dan kesulitan start dingin (Thakur dkk., 2017), peningkatan rasio pencampuran etanol terhadap bensin juga menghadapi banyak kendala. Baru-baru ini, produksi 2,5 dimethylfuran (DMF) dari *biomassa* mengalami kemajuan besar, menunjukkan bahwa DMF mempunyai potensi untuk produksi skala industri dari sumber *biomassa* yang tidak ada habisnya (Wang dkk., 2019). Oleh karena itu, DMF muncul sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar tradisional seperti bensin dan solar pada mesin pembakaran dalam karena memiliki banyak kesamaan sifat dengan bensin (Hoang dkk., 2021). Banyak penelitian telah mengkonfirmasi bahwa DMF dapat digunakan sebagai bahan bakar pada spark ignition (SI) dan compression

ignition (CI) tanpa mengubah struktur mesin (Liu dkk., 2019). Selain itu, penggunaan DMF sebagai bahan bakar juga membantu mengurangi emisi berbahaya seperti hydrocarbon (HC), nitrogen oxides (NOx), dan *particulate matter* (PM) yang tidak terbakar lebih rendah dibandingkan dengan bensin dan etanol (Alexandrino dkk., 2014).

Dari pembahasan sebelumnya, semua peneliti hanya membahas pada performa dan kinerja mesin pembakaran dalam. Sedikit dari penelitian sebelumnya yang melaporkan pembakaran tetapan bahan bakar campuran minyak nabati-2,5-dimethylfuran, yang memberikan penjelasan ilmiah mendalam untuk fenomena yang diamati. Dengan demikian, untuk lebih memahaminya, studi lebih mendasar dibutuhkan, bagaimanapun perilaku nyala yang memainkan peran penting dalam stabilitas pembakaran tidak dapat diamati. Sementara itu, pengaruh campuran minyak nabati-2,5-dimethylfuran terhadap karakteristik nyala api dan emisi juga belum banyak diteliti.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pembahasan tentang peranan variasi campuran 2,5-dimethylfuran dengan bahan bakar minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif terhadap karakteristik pembakaran droplet. Penelitian ini menyediakan data tentang kestabilan pembakaran dalam yang sangat mendukung proses pembakaran minyak *biodiesel* di dalam mesin agar lebih efisien.

METODOLOGI

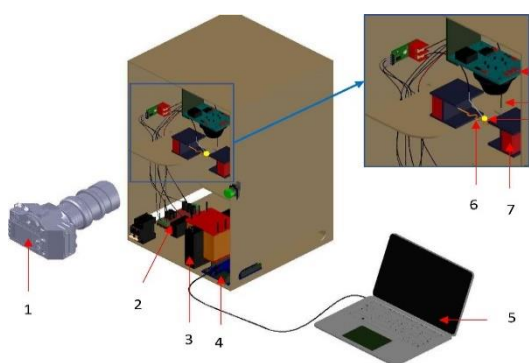
Tabel 1. Sifat Fisika 2,5-dimethylfuran dan minyak kelapa

Properties	Unit	DM F	Minyak Kelapa
Kinematic viscosity at 20 °C	mm ² /s	0.65	26.84
Density at 20 °C	Kg/m ³	889.7	936
Lower heating	MJ/kg	33,7	31.25
Flash point	°C	1	265
Boiling point	°C	92	177
Octane number		101	-
Cetane number		9	37
Hydrogen	%wt	8.32	12
Oxygen	%wt	16.67	14.4
Carbon	%wt	75	73.5

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah 2,5-dimethylfuran dan minyak kelapa. Bahan bakar ini didapatkan dari

pasar. Sifat fisika dari minyak kelapa dan 2,5-*dimethylfuran* ditunjukkan pada tabel 1 (Liu dkk., 2016; Zheng dkk., 2016; Alexandrino, 2020; Chau dkk., 2020; Perdana dkk., 2018). Pada proses pengujian pembakaran, dibutuhkan sebanyak 4 ml minyak kelapa yang dicampur dengan 2,5-*dimethylfuran* dengan variasi konsentrasi 0%, 5%, 10% dan 15%.

Gambar 1 menunjukkan instalasi secara eksperimental dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan data pembakaran droplet dengan menggunakan bahan bakar variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* (DMF) dan minyak kelapa. Visualisasi nyala api, tinggi, dan emisi HC merupakan parameter yang diteliti pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan pada kondisi perlakuan yang sama sebanyak 5 kali percobaan. Diameter tetesan sekitar 0.3 mm dijaga konstan dan ditempatkan pada *thermocouple junction type K* terbuat dari Pt/Rh13% dengan diameter 0.1 mm untuk mengukur temperatur nyala api. Emisi gas buang HC diukur dengan menggunakan Sensor MQ-2 yang ditempatkan diatas *thermocouple junction type K*. *Data logger* yang terhubung dengan *arduino uno* digunakan untuk merekam emisi gas HC. Sebagai penyalaan awal digunakan *heater element* berbahan Ni-Cr berdiameter 0.7 mm, panjang 30 mm dengan tegangan 12 V dan arus 5 A ditempatkan di bawah *droplet*.



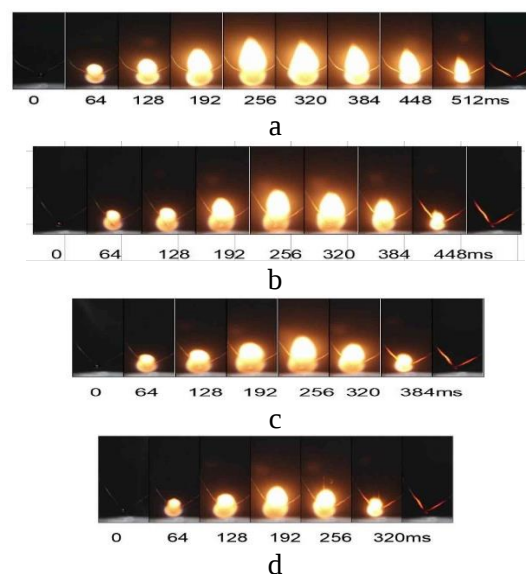
Gambar 1. Peralatan eksperimen: 1. high speed camera; 2. power supply; 3. trafo step down; 4. data logger; 5. Laptop; 6. heater element; 7.

High speed camera dengan 120 frame per second (fps) digunakan untuk merekam visualisasi nyala api mulai awal terbentuk nyala api sampai padam. Hasil perekaman kemudian diolah menjadi ukuran satuan millisecond (ms)

dengan menggunakan aplikasi *Free Video to JPG Converter* kemudian diteruskan ke *Image J bundled* dengan 64-bit Java 1.8.0-112 yang merubah *file* gambar menjadi beberapa bingkai. Untuk mendapatkan data visualisasi dan tinggi nyala api menggunakan *software Corel Draw*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evolusi dan bentuk nyala api variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* dan minyak kelapa ditunjukkan pada gambar 2. Gambar 3a menunjukkan tanpa campuran 2,5-*dimethylfuran* bentuk nyala api yang dihasilkan lebih bulat daripada dengan campuran 2,5-*dimethylfuran*, disisi lain evolusi nyala api pembakarannya menghasilkan waktu terlama 512 ms. Campuran *dimethylfuran* sebesar 15 % menghasilkan waktu evolusi paling singkat sebesar 320 ms, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan durasi pembakaran DMF lebih singkat dibandingkan bensin dan etanol (Wu dkk., 2011; Xu dkk., 2016). Kemudian disusul campuran 2,5-*dimethylfuran* sebesar 10 % dan 5 % masing-masing sebesar 384 ms dan 448 ms.

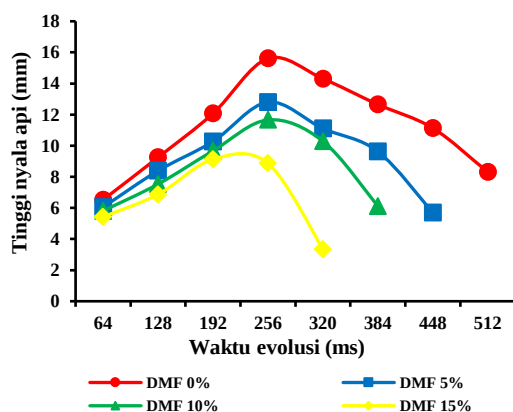


Gambar 2. Bentuk nyala api terhadap variasi campuran 2,5-*dimethylfuran*; (a) tanpa (b) DMF 5% (c) DMF 10% (d) DMF 15%

Pada gambar 3b-3d dapat diamati campuran 2,5-*dimethylfuran* semakin meningkat menghasilkan waktu evolusi nyala api semakin singkat dan bentuk nyala api agak lonjong. Hal ini membuktikan bahwa penambahan 2,5-

dimethylfuran pada bahan bakar minyak kelapa mempermudah proses penguapan diakibatkan nilai viskositas 2,5-*dimethylfuran* lebih rendah daripada minyak kelapa (lihat tabel 1). Sehingga menyebabkan molekul bahan bakar bergerak sangat leluasa dan partikel-partikel kecil yang dihasilkan mempercepat proses pembakaran lebih singkat. *Flash point* semakin tinggi menghasilkan waktu penyalaan bahan bakar tersebut semakin lama, karena kecepatan penguapannya (*Volatility*) yang lambat. Adanya senyawa 2,5-*dimethylfuran* yang menghasilkan ikatan baru itu berpotensi meningkatkan panjang karbon rantai minyak kelapa. Dampaknya jarak antar molekul bahan bakar menjadi lebih kecil, sehingga kemungkinan untuk efektif tabrakan sangat besar. Fenomena ini dapat meningkatkan reaktivitas molekul bahan bakar sehingga mudah terbakar dan laju pembakaran difusi meningkat.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* dan minyak kelapa pada pembakaran droplet terhadap ketinggian nyala api. Pada awal-awal periode pembakaran dimensi nyala api secara bertahap mulai meningkat yang berhubungan dengan akumulasi campuran bahan bakar dan udara akibat difusi uap bahan bakar ke udara dan oksidasi campuran di sekitar tetesan, selanjutnya tinggi nyala api semakin menurun sampai padam pada saat mulai mengecilnya diameter *droplet* sebelum habis.



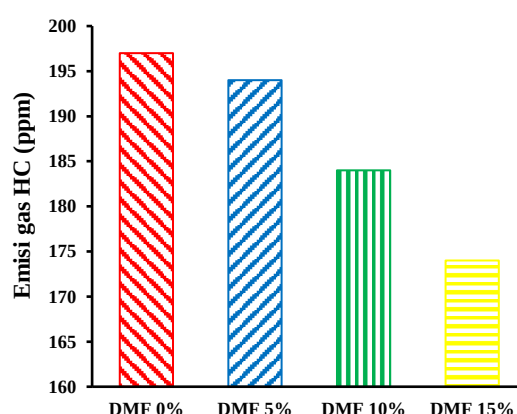
Gambar 3. Pengaruh variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* terhadap tinggi nyala api

Tanpa campuran 2,5-*dimethylfuran* menghasilkan nyala api tertinggi sebesar 15.61 mm pada saat 256 ms, sedangkan campuran DMF 15% menghasilkan tinggi nyala api terendah sebesar 9.13 mm disaat 192 ms dibandingkan campuran lainnya. Pada campuran DMF 5% dan DMF 10% menghasilkan tinggi

nyala api masing-masing sebesar 12.8 mm dan 11.6 mm pada saat 256 ms.

Variasi tinggi nyala api ini dihasilkan oleh pengaruh DMF yang memiliki kandungan oksigen 16.67% daripada minyak kelapa sebesar 14.4% (lihat tabel 1). Kandungan oksigen ini mempengaruhi reaksi pembakaran lebih meningkat, karena saat DMF dikenakan panas maka atom oksigen pada DMF akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom C (karbon) dan atom H (hidrogen), sehingga menyebabkan reaksi pembakarannya semakin cepat menghasilkan tinggi nyala api semakin menurun.

Variasi emisi gas HC yang dihasilkan oleh pembakaran droplet variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* dan minyak kelapa ditunjukkan pada gambar 4. Nilai emisi gas HC yang terendah dihasilkan oleh campuran minyak kelapa dengan 2,5-*dimethylfuran* 15% sebesar 174 ppm, sedangkan emisi gas HC tertinggi terjadi pada minyak kelapa tanpa campuran 2,5-*dimethylfuran* sebesar 197 ppm. Pada campuran 2,5-*dimethylfuran* 5% dan 10% dihasilkan emisi gas HC dengan nilai masing-masing sebesar 194 ppm dan 184 ppm. Semakin meningkatnya campuran 2,5-*dimethylfuran* semakin menurun emisi gas HC yang dihasilkan, hasil penelitian ini identik yang telah dilakukan oleh (Hoang dkk., 2021) bahwa penambahan *dimethylfuran* akan menurunkan emisi HC dibandingkan bahan bakar lainnya tanpa campuran.



Gambar 4. Pengaruh variasi campuran 2,5-*dimethylfuran* terhadap emisi gas HC

Hal ini dikarenakan 2,5-*dimethylfuran* mempunyai kandungan oksigen yang lebih tinggi dan titik didid lebih rendah dibandingkan

minyak kelapa. Sehingga penguapan bahan bakar minyak kelapa dengan campuran 2,5-*dimethylfuran* lebih singkat menghasilkan reaksi pembakaran dengan oksidator lebih sempurna, karena tidak ada molekul hidrokarbon yang lepas dari reaksi pembakaran. Pengayaan oksigen pada reaksi pembakaran bahan bakar *biodiesel* minyak jelantah menciptakan reaksi campuran bahan bakar pada pembakaran berjalan dengan sempurna.

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi 2,5-*dimethylfuran* 15% dengan minyak kelapa menghasilkan perilaku nyala api yang berbeda-beda. Meningkatnya campuran konsentrasi DMF dapat meningkatkan proses penguapan karena *flash point* rendah sehingga dapat memecah molekul hidrokarbon bahan bakar. Hidrokarbon yang pecah mempermudah molekul oksigen untuk bergabung dengan molekul bahan bakar. Akibatnya, molekul hidrokarbon lebih reaktif bereaksi dengan oksigen, sehingga lebih mudah terbakar dan menghasilkan evolusi nyala api singkat, tinggi nyala api rendah, dan pengurangan emisi gas hidrokarbon.

Saran

Namun, penelitian ini masih memiliki kekurangan terkait variasi jenis minyak nabati dan variasi campuran bioaditif Hal ini dimungkinkan berkurangnya lahan perkebunan sehingga berdampak pada jumlah produksi minyak nabati dan bahan aditif di Indonesia yang cenderung menurun. Studi ini juga tidak dapat memproyeksikan bagaimana efisiensi bahan bakar, volumetrik dan termal pada kendaraan bermotor. Sangat penting dilakukan penelitian lebih fokus pada semua jenis minyak nabati, baik murni maupun turunannya, jenis bahan aditif lainnya, untuk mendapatkan beberapa data bagi kemajuan pada bidang industri, pembangunan energi listrik, dirgantara, dan transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

Adeniyi, A.G. *et al.* (2029) 'Pyrolysis of Different Fruit Peel Waste Via a Thermodynamic Model', *ABUAD Journal of Engineering Research and Development*, 2(2), pp. 16–24.

Alexandrino, K. *et al.* (2014) 'Interaction between 2, 5-Dimethylfuran and Nitric oxide: Experimental and Modeling Study', *Energy Fuels*, 28(6), pp. 4193–4198. Available at: <https://doi.org/10.1021/ef5005573>

Ali, O. M. *et al.* (2016) 'Analysis of Blended Fuel Properties and Engine Performance with Palm Biodiesel-Diesel Blended Fuel', *Renewable Energy*, 86, pp. 59–67. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.103>

Ali, I., Bahaitham, H. and Naebulharam, R. (2017), 'A Comprehensive Kinetics Study of Coconut Shell Waste Pyrolysis', *Bioresource Technology*, 235, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.089>

Ayeni, A.O., Agboola, O., Daramola, M.O., Grabner, B., Oni, B.A., Babatunde, D.E. and Ewodere, J. (2021), 'Kinetic Study of Activation and Deactivation of Adsorbed Cellulase During Enzymatic Conversion of Alkaline Peroxide Oxidation-Pretreated Corn Cob to Sugar', *Korean Journal of Chemical Engineering*, 38(1), pp. 81–89. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11814-020-0667-2>

Bautista, L. F. *et al.* (2009) 'Optimization of FAME Production from Waste Cooking Oil for Bio Diesel Use', *Biomass and Bioenergy*, 33(5), pp. 862–72. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.01.009>

Chau, M. Q. *et al.* (2020) 'A Numerical Simulation Determining Optimal Ignition Timing Advance of SI Engines Using 2.5-Dimethylfuran-Gasoline Blends', *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(5), pp. 1933-1938. Available at: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.5.13051>

Corsini, A. *et al.* (2015) 'Vegetable Oils as Fuels in Diesel Engine, Engine Performance and Emissions', *Energy Procedia*, 81, pp. 942–949. Available at:

- https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.151
- Hellier, P., Ladommatos, N. and Yusaf, T. (2015) 'The Influence of Straight Vegetable Oil Fatty Acid Composition on Compression Ignition Combustion and Emissions', *Fuel*, 143, pp. 131–43. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.11.021
- Hoang, A.T., Nizetic, S. and Olcer, A.I. (2021) '2,5-Dimethylfuran (DMF) as a Promising Biofuel for the Spark Ignition Engine Application: a Comparative Analysis and Review', *Fuel*, 285, 119140. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119140
- How H.G. *et al.* (2012) 'Impact of Coconut Oil Blends on Particulate-Phase Paks and Regulated Emissions from a Light Duty Diesel Engine', *Energy* 48(1), pp. 500–509. Available at: https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.009
- Ighalo, J.O. and Adeniyi, A.G. (2019), 'Factor Effects and Interactions in Steam Reforming of Biomass Bio-Oil', *Chemical Papers*, 74(5), pp. 1459–1470. Available at: https://doi.org/10.1007/s11696-019-00996-3
- Kalam, M.A., Husnawan, M. and Masjuki, H.H. (2003), 'Exhaust Emission and Combustion Evaluation of Coconut Oil-Powered Indirect Injection Diesel Engine', *Renewable Energy*, 28(15), pp. 2405–2415. Available at: https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00136-8
- Kratzeisen, M. and Müller, J. (2010) 'Influence of Free Fatty Acid Content of Coconut Oil on Deposit and Performance of Plant Oil Pressure Stoves', *Fuel*, 89(7), pp. 1583–1589. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.08.038
- Liu, X. *et al.* (2016) 'Development of a Reduced Toluene Reference Fuel (TRF)-2,5-Dimethylfuran polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Mechanism for Engine Applications', *Combustion and Flame*, 165, pp. 453–465. Available at: https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2015.12.030
- Liu, H. *et al.* (2019) 'Investigation on Blending Effects of Gasoline Fuel with N-Butanol, DMF, and Ethanol on the Fuel Consumption and Harmful Emissions in a GDI Vehicle', *Energies*, 12(10), 1845. Available at: https://doi.org/10.3390/en12101845
- Malik, M.S.A. *et al.* (2017) 'Combustion and Emission Characteristics of Coconut-Based Biodiesel in a Liquid Fuel Burner', *Energies*, 10(4). Available at: https://doi.org/10.3390/en10040458.
- Mat, S.C. *et al.* (2018) 'Performance and Emissions of Straight Vegetable Oils and Its Blends as a Fuel in Diesel Engine: A Review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 808–823. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.080
- Mat, S.C. *et al.* (2019) 'Optimisation of Viscosity and Density of Refined Palm Oil-Melaleuca Cajuputi Oil Binary Blends using Mixture Design Method', *Renewable Energy*, 133, pp. 393–400. Available at: https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.017
- Nanolhy, H.Y. *et al.* (2018) 'The Effect of Rh3+ Catalyst on the Combustion Characteristics of Crude Vegetable Oil Droplets', *Fuel*, 220, pp. 220–232. Available at: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.001.
- Perdana, D. *et al.* (2018) 'The Role of Fatty Acid Structure in Various Pure Vegetable Oils on Flame Characteristics and Stability Behavior for Industrial Furnace', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(8–95), pp. 65–75. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144243
- Thakur, A.K. *et al.* (2017) 'Progress in Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on SI Engine', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp. 324–40. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.056
- Wang, Q. and Sarkar, J. (2018), 'Pyrolysis Behaviors of Waste Coconut Shell and Husk Biomasses', *International Journal of Energy Production and Management*, 3 (1), pp. 34–43. Available at: https://doi.org/10.2495/EQ-V3-N1-34-43

- Wang, X. *et al.* (2019) 'Catalytic Hydrogenolysis of Biomass-Derived 5-Hydroxymethylfurfural to Biofuel 2, 5-Dimethylfuran', *Applied Catalysis A: General*, 576, pp. 85–95. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2019.03.005>
- Wu, X. *et al.* (2011) 'Dual-injection: The Flexible, Bi-Fuel Concept for Spark-Ignition Engines Fuelled with Various Gasoline and Biofuel Blends', *Applied Energy*, 88(7), pp. 2305–2314. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.025>
- Xu, N. *et al.* (2016) 'Review on the Production Methods and Fundamental Combustion Characteristics of Furan Derivatives', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, pp. 1189–1211. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.118>
- Yilmaz, N. and Vigil, F.M. (2014) 'Potential Use of a Blend of Diesel, Biodiesel, Alcohols and Vegetable Oil in Compression Ignition Engines', *Fuel* 124, pp. 168–172. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.075>
- Yilmaz, N., Atmanli, A. and Vigil, F.M. (2018) 'Quaternary Blends of Diesel, Biodiesel, Higher Alcohols and Vegetable Oil in A Compression Ignition Engine', *Fuel*, 212, pp. 462–469. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.050>
- Zhang, M. and Wu, H. (2015) 'Effect of Major Impurities in Crude Glycerol on Solubility and Properties of Glycerol/Methanol/Bio-Oil Blends', *Fuel*, 159, pp. 118–127. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.06.062>
- Zheng, Z. *et al.* (2016) 'Experimental Study on the Combustion and Emissions Fueling Biodiesel/N-Butanol, Biodiesel/Ethanol and Biodiesel/2,5-Dimethylfuran on a Diesel Engine', *Energy*, 115, pp. 539–549. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.054>